



(21) Aktenzeichen: P 41 07 158.1  
 (22) Anmeldetag: 6. 3. 91  
 (23) Offenlegungstag: 12. 9. 91

(30) Unionspriorität: (22) (33) (31)

06.03.90 JP 2-54304 14.06.90 JP 2-155908

(71) Anmelder:

Brother Kogyo K.K., Nagoya, Aichi, JP

(74) Vertreter:

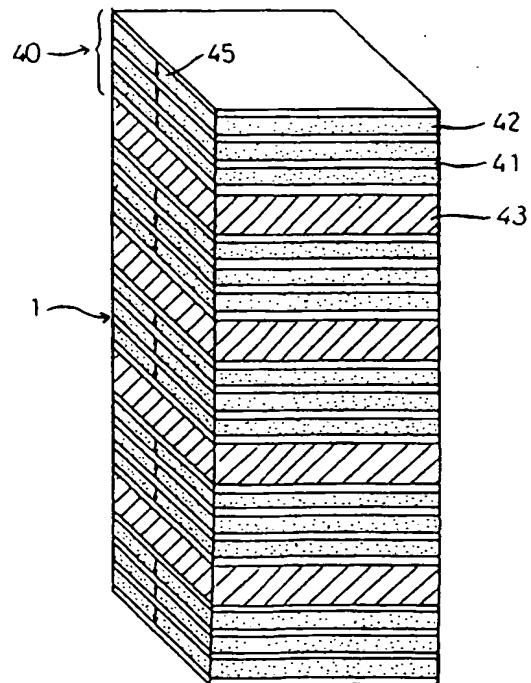
Prüfer, L., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 8000 München

(72) Erfinder:

Takahashi, Yoshikazu; Suzuki, Masahiko; Takeuchi, Makoto; Deguchi, Masaaki, Nagoya, Aichi, JP

(54) Laminarer piezoelektrischer/elektrostriktiver Treiber mit Longitudinaleffekt und Druckaktuator mit diesem Treiber

(55) Beschrieben ist ein laminarer piezoelektrischer oder elektrostriktiver Treiber (1) mit longitudinalem Effekt, der sich beim Anlegen eines elektrischen Feldes verformt. Der Treiber weist laminare elektromechanische Konvertierelemente (40), die aufgrund der longitudinalen Mode des inversen piezoelektrischen oder elektrostriktiven Effektes jeweils in Richtung des elektrischen Feldes eine Verformung erfahren, und Temperaturkompensationselemente (43) auf, die sich jeweils zwischen den zwei benachbarten laminaren elektromechanischen Konvertierelementen befinden. Die Temperaturkompensationselemente weisen einen höheren linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten in Richtung des elektrischen Feldes oder Verformungsrichtung des Treibers auf. Der Treiber ist beispielsweise für einen Aktuator zum Betreiben des Druckelementes eines Druckers geeignet.



1  
Beschreibung

Die Erfindung betrifft allgemein einen laminierten piezoelektrischen/elektrostriktiven Treiber, der aufgrund einer Verformung durch einen longitudinalen Effekt eines piezoelektrischen oder elektrostriktiven Keramikmaterials eine Versetzung liefert. Die Erfindung betrifft ferner einen Druckaktuator, der einen solchen piezoelektrischen oder elektrostriktiven Treiber zum Treiben eines Druckelementes, wie beispielsweise einer Drucknadel für einen Punktmatrixdrucker, verwendet.

Es ist ein piezoelektrisches oder elektrostriktives Element vom Laminationstyp bekannt, das die longitudinale Mode des inversen piezoelektrischen Effektes oder elektrostriktiven Effektes verwendet. Dieses laminare piezoelektrische oder elektrostriktive Element mit longitudinalem Effekt besteht aus einer Mehrzahl von piezoelektrischen Keramikfilmen aus beispielsweise Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) und einer Mehrzahl von Elektrodenfilmen, die in Richtung, in der das Element beim Anlegen einer Spannung an die Elektrodenfilme versetzt (kontrahiert und expandiert) wird, abwechselnd aufeinander geschichtet sind. Das auf diese Weise verformte piezoelektrische oder elektrostriktive Element wird als Treiber für einen mechanischen Punktmatrix-Druckkopf, als Aktuator für einen VTR-Kopf und als Oszillatator für einen Ultraschallantrieb oder andere Einrichtungen verwendet. Insbesondere hat aufgrund seiner relativ hohen Herstellungseffizienz und Betriebszuverlässigkeit ein Aktuator verstärktes Interesse gefunden, der in einem Prozeß für einen keramischen Laminarkondensator laminiert wird.

In Fig. 5 ist ein piezoelektrischer Druckaktuator 100 allgemein dargestellt. Dieser Druckaktuator 100 verwendet einen im wesentlichen langgestreckten laminaren piezoelektrischen Treiber 101 mit longitudinalem Effekt, dessen lineare Versetzung beim Anlegen einer Spannung dazu benutzt wird, ein Druckelement in der Form einer Drucknadel 11 zu treiben. Die Versetzung ergibt sich aus der longitudinalen Mode des inversen piezoelektrischen Effektes oder des elektrostriktiven Effektes, wie im Stand der Technik bekannt ist. Der "Effekt der longitudinalen Mode" bedeutet den inversen piezoelektrischen Effekt oder elektrostriktiven Effekt parallel zur Richtung des elektrischen Feldes, das von der an den Treiber angelegten Spannung erzeugt wird. Dieser wird vom "Effekt der transversalen Mode" senkrecht zur Richtung des elektrischen Feldes unterschieden. Im Beispiel der Fig. 5 tritt die Versetzung in longitudinaler Richtung des im wesentlichen langgestreckten Treibers 101 auf, in dem piezoelektrische Keramikfilme 42 aufeinander geschichtet sind, wie dies in Fig. 6 dargestellt ist.

Wie in Fig. 5 gezeigt ist, weist der Druckaktuator 100 einen Träger mit einem Hauptrahmen 2 auf, der an einem Ende einen Halteblock 3 besitzt. Der piezoelektrische Treiber wird vom Träger so getragen und aufgenommen, daß der Treiber 101 an einem der longitudinalen Enden auf dem Halteblock 3 sitzt. Ein bewegliches Bauteil 5 ist mit dem anderen Ende des Treibers 101 verbunden. Der Träger trägt ferner eine Verbindungs vorrichtung 16, die so angeordnet ist, daß sie das bewegliche Bauteil 5 in longitudinaler Richtung des Treibers 101 versetzt, wenn der Treiber in longitudinaler Richtung verschoben wird. Das bewegliche Bauteil 5 ist mit einer Vorrichtung zum Verstärken der linearen Bewegung des Treibers 101 zu einer umfangreicherem Longitudinalbewegung der Drucknadel 11 verbunden. Diese

Umwandlungsvorrichtung 16 ist ein Paar von Blattfedern 6, 7, ein neigbares Bauteil 8 und einen Arm 10 auf. Die Blattfeder 6 ist mit einem Ende am Hauptrahmen 2 angebracht, während die Blattfeder 7 mit einem Ende am beweglichen Bauteil 5 befestigt ist. Die anderen Enden der Blattfedern 6, 7 sind mit dem neigbaren Bauteil 8 verbunden, das an einem Ende des Armes 10 befestigt ist. Die Drucknadel 11 ist mit einem Ende am anderen Ende des Armes 10 angebracht. Die lineare Versetzung des Treibers 101 beim Anlegen einer Spannung bewirkt, daß die Blattfeder 7 versetzt wird, wodurch sich das neigbare Bauteil 8 neigt. Die neigende Bewegung des neigbaren Bauteiles 8 wird über den Arm 10 zur Drucknadel 11 übertragen, wodurch die Drucknadel eine Druckbewegung in Richtung eines Aufzeichnungsmediums ausführt.

Ein Beispiel des bekannten laminaren piezoelektrischen Treibers 101 ist in Fig. 6 dargestellt. Der Treiber 101 weist 180 piezoelektrische Keramikfilme 42 und 181 Elektrodenfilme 41 auf, die abwechselnd aufeinander geschichtet sind. Jeder piezoelektrische Keramikfilm besitzt eine Dicke von 98  $\mu\text{m}$  und jeder Elektrodenfilm 41 eine von 2  $\mu\text{m}$ , so daß der laminare piezoelektrische Treiber 101 eine Gesamtdicke von etwa 18 mm aufweist. Der piezoelektrische Keramikfilm 42 weist eine Piezoelektrizitätskonstante  $d_{33}$  von  $635 \times 10^{-10} \text{ m/V}$  und eine Elektrostriktionskonstante  $M_{33}$  von  $1,32 \times 10^{-16} \text{ m/V}^2$  auf. Damit der piezoelektrische Treiber 101 eine lineare Versetzung von 15  $\mu\text{m}$  ausführt, die für die geforderte Bewegung der Drucknadel 11 notwendig ist, müssen 107 V an die Elektrodenfilme 41 angelegt werden, um die piezoelektrischen Filme 42 zu polarisieren, wie durch die Pfeile 45 in Fig. 6 gezeigt ist. Der laminare piezoelektrische Treiber 101 erfährt nämlich aufgrund der longitudinalen Mode des inversen piezoelektrischen oder elektrostriktiven Effektes parallel zur Polarisationsrichtung eine lineare Versetzung in longitudinaler Richtung (in Laminationsrichtung der Filme 41, 42).

Der piezoelektrische Treiber 101 besitzt die Eigenschaft, daß der Umfang der verbleibenden Verformung nach der Polarisierung der piezoelektrischen Keramikfilme 42 vermindert wird, wenn die Temperatur der Filme 42 während der Benutzung des Treibers 101 ansteigt. Aufgrund dieser Erscheinung weist der Treiber 101 bei Betriebstemperatur im Gegensatz zu den anderen Komponenten des Druckaktuators 100 einen sehr kleinen oder negativen thermischen Koeffizienten für die lineare Wärmeausdehnung auf (z. B.  $-3,8 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ ). Daraus existiert ein Unterschied zwischen den linearen Wärmeausdehungs koeffizienten des Treibers 101 und des Hauptrahmens 2, der zur Sicherstellung eines zuverlässigen Betriebes des Druckaktuators 100 kompensiert werden sollte. Aus diesem Grund wird der Hauptrahmen 2 aus einem Metall mit einem kleinen Koeffizienten für die lineare Wärmeausdehnung hergestellt, beispielsweise einer Invarlegierung, deren linearer Wärmeausdehnungskoeffizient  $+1,2 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  beträgt, und es werden steife Temperaturkompensationsbauteile 12, 13 mit einem hohen positiven linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten benutzt, die in Kontakt mit dem unteren Ende des Treibers 101 stehen. Die Temperaturkompensationsbauteile 12, 13 bestehen beispielsweise aus Aluminiumblöcken mit einer Gesamtdicke von 4 mm und einem linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten von  $+23,9 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ .

Das Material mit einem kleinen linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten für den Rahmen 2 ist jedoch

ziemlich teuer, was zu erhöhten Kosten für den Druckaktuator führt. Ferner ist es umständlich und zeitaufwendig, die Temperaturkompensationsbauteile 12, 13 relativ zum Halteblock 3 und dem piezoelektrischen Treiber 101 zu positionieren. Damit treibt die Verwendung der Temperaturkompensationsbauteile 12, 13 die Herstellungskosten hoch. Ferner besteht das Risiko, daß sich die Temperaturkompensationsbauteile 12, 13 aufgrund der geringen Haftung zwischen diesen und dem piezoelektrischen Treiber 101 während des Betriebes vom piezoelektrischen Treiber 101 lösen.

Wenn der piezoelektrische Treiber 101 keine ausreichend hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist, kann ein Temperaturunterschied zwischen dem Treiber 101 und den Temperaturkompensationsbauteilen 12, 13 auftreten. Dieser Temperaturunterschied vermindert die Funktion der Temperaturkompensationsbauteile und kann zur unerwünschten Erscheinung führen, daß das Betriebsende der Drucknadel 11 mit zunehmender Betriebstemperatur des Treibers 101 in Richtung des Aufzeichnungsmediums vorgeschoben wird. Dies führt dazu, daß die Spitze der Drucknadel 11 das Farbband oder Aufzeichnungsmedium berührt, während sich die Drucknadel 11 in der nicht-betriebsmäßigen Position befindet.

Der bekannte piezoelektrische Treiber 101 leidet ferner unter der relativ hohen Spannung (107 V im Beispiel der Fig. 6), die erforderlich ist, um die gewünschte Druckbewegung der Drucknadel 11 zu erhalten. Eine Möglichkeit, die erforderliche Spannung zu vermindern, besteht darin, die Dicke eines jeden piezoelektrischen Keramikfilms 42 zu reduzieren und die Zahl dieser Filme zu erhöhen. Diese Lösung leidet jedoch unter einem anderen Problem bei der Sinterung des Treibers 101. Dies bedeutet, daß ein Unterschied in der Sinterungstemperatur des Treibers 101 zwischen den piezoelektrischen Filmen 42, die sich relativ nahe den longitudinalen Enden des Treibers befinden, und den Filmen 42 in der Mitte der Laminierung auftritt. Dies führt tendenziell zu einer Verminderung der Einheitlichkeit in den physikalischen Eigenschaften und der Betriebszuverlässigkeit des Treibers 101.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen laminaren piezoelektrischen/elektrostriktiven Treiber mit longitudinalem Effekt zu schaffen, der beim Betrieb zuverlässig ist und einen vermindernden Einfluß gegenüber einer Änderung Betriebstemperatur aufweist.

Die oben angeführte Aufgabe kann in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung, die einem laminaren piezoelektrischen/elektrostriktiven Treiber mit longitudinalem Effekt schafft, der sich beim Anlegen eines elektrischen Feldes verformt, gelöst werden. Der erfindungsgemäße Treiber weist eine Mehrzahl von laminaren elektromechanischen Konvertierungselementen und eine Mehrzahl von Temperaturkompensationselementen auf, die abwechselnd übereinander geschichtet sind. Jedes laminare elektromechanische Konvertierungselement erfährt aufgrund eines longitudinalen piezoelektrischen/elektrostriktiven Effektes in Richtung des elektrischen Feldes eine Verschiebung bzw. Verformung und weist in Richtung des elektrischen Feldes einen ersten Koeffizienten der linearen Wärmeausdehnung auf. Die Temperaturkompensationselemente weisen einen zweiten Koeffizienten der linearen Wärmeausdehnung in Richtung des elektrischen Feldes auf, der größer als der erste Koeffizient der linearen Wärmeausdehnung der laminaren elektromechanischen Konvertierungselemente ist.

Beim piezoelektrischen/elektrostriktiven Treiber der

vorliegenden Erfindung, die oben beschrieben konstruiert ist, ist der Unterschied zwischen den Betriebstemperaturen der piezoelektrischen/elektrostriktiven elektromechanischen Konvertierungselementen und den Temperaturkompensationselementen aufgrund der abwechselnden Schichtung oder Laminierung dieser zwei verschiedenen Elemente mit den jeweils verschiedenen linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten relativ gering. Diese Anordnung stellt eine verminderte Abweichung der Versetzung des Treibers vom Nominalwert sicher. Ferner erfordert der vorliegende Treiber kein herkömmlicherweise benutztes Temperaturkompensationselement, das relativ zum Treiber genau positioniert werden muß und dessen Betriebstemperatur von der des Treibers erheblich abweicht. Wird der Treiber zum Betreiben eines Druckelements eines Druckers verwendet, so kann das Druckelement unabhängig von der Betriebstemperatur des Treibers zwischen vorbestimmten konstanten betriebsmäßigen und nicht-betriebsmäßigen Positionen bewegt werden.

Im allgemeinen besteht jedes laminare elektromechanische Konvertierungselement, das eine longitudinale Mode des piezoelektrischen oder elektrostriktiven Effektes zeigt, aus einer Mehrzahl von piezoelektrischen Keramikfilmen und einer Mehrzahl von Elektrodenfilmen, die abwechselnd aufeinander geschichtet sind, so daß jeder piezoelektrische Keramikfilm in der Form eines Sandwich zwischen zwei benachbarten Elektrodenfilmen liegt.

Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, einen piezoelektrischen/elektrostriktiven Treiber zu schaffen, der ökonomisch herzustellen ist und im Betrieb sehr widerstandsfähig ist.

Die oben angeführte Aufgabe kann entsprechend einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erreicht werden, bei der die laminaren piezoelektrischen/elektrostriktiven elektromechanischen Konvertierungselemente und die Temperaturkompensationselemente eine co-gekittete Laminarstruktur bilden. Der Treiber wird nämlich durch Co-Brennen der gebrannten und abwechselnd geschichteten Schichten für die elektromechanischen Konvertierungs- und Temperaturkompensationselemente gebildet. Diese co-gebrannte oder co-gekittete Laminarstruktur vermeidet eine Ablösung oder ein Abblättern der elektromechanischen und Temperaturkompensationselemente voneinander und weist eine hohe Haftfestigkeit zwischen den Elementen und einen vergleichsweise hohen Grad der Betriebsfestigkeit auf. Dies bedeutet, daß mit dem Treiber kein separates Temperaturkompensationsbauelement mittels eines Klebstoffes verbunden werden muß, der eine exakte relative Ausrichtung zwischen diesen aufrecht erhält. Dies stellt einen schwierigen und umständlichen Vorgang dar und treibt die Herstellungskosten einer Aktuatoreninstellung in die Höhe, die den Treiber benutzt.

Wenn die Temperaturkompensationselemente mit den piezoelektrischen/elektrostriktiven elektromechanischen Konvertierungselementen co-gekittet sind, stellt jedes Temperaturkompensationselement bevorzugterweise eine Laminarstruktur dar, die aus einer Mehrzahl von Temperaturkompensationsfilmen besteht, die zwischen den beiden benachbarten laminaren elektromechanischen Konvertierungselementen geschichtet sind. Die Temperaturkompensationselemente oder -filme werden bevorzugterweise aus einem piezoelektrischen Keramikmaterial (wie einem Keramikmaterial, dessen Hauptkomponente Blei-Zirkonat-Titanat ist) gebildet, dessen Zusammensetzung im wesentlichen

dieselbe ist wie die der piezoelektrischen/elektrostriktiven Konvertierungselemente.

Die Aufgabe der Erfahrung besteht weiterhin darin, einen laminaren piezoelektrischen/elektrostriktiven Treiber mit longitudinalem Effekt zu schaffen, der piezoelektrische Keramikfilme mit jeweils relativ geringer Dicke aufweist und der eine relativ geringe elektrische Energie benötigt, um eine gewünschte Verformung bereitzustellen.

Die oben angeführte Aufgabe kann in Übereinstimmung mit einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfahrung gelöst werden, bei der jedes der Mehrzahl von laminaren elektromechanischen Konvertierungselementen aus einer Mehrzahl (oder Vielfachheit) von piezoelektrischen Keramikfilmen und einer Mehrzahl (oder Vielfachheit) von Elektrodenfilmen besteht, die abwechselnd aufeinander geschichtet sind, und bei der jedes der Mehrzahl von Temperaturkompensationselementen aus einem einzelnen Temperaturkompensationsblatt besteht, das mit den benachbarten laminaren elektromechanischen Konvertierungselementen mittels eines Klebstoffes verbunden ist. Bei der gegenwärtigen Form der Erfahrung kann die Dicke eines jeden piezoelektrischen Keramikfilms eines jeden laminaren elektromechanischen Konvertierungselementes relativ klein (z. B. 40 µm) gemacht werden, da die Gesamtzahl der piezoelektrischen Keramikfilme durch Erhöhen der Zahl der jeweiligen laminaren elektromechanischen Konvertierungselemente und/oder die Zahl der piezoelektrischen Filme eines jeden elektromechanischen Konvertierungselementes relativ groß sein kann. Folglich wird die erforderliche Menge an elektrischer Energie, um das elektrische Feld für die gewünschte Verformung des Treibers zu erzielen, entsprechend reduziert werden.

Der entsprechend der obigen Form der Erfahrung konstruierte Treiber kann durch Sintern der individuellen laminaren elektromechanischen Elemente und Verbinden dieser gesinterten laminaren Elemente mit einem zwischen den benachbarten gesinterten laminaren Elementen befindlichen Temperaturkompensationsblatt gebildet werden. Beim Sintern eines jeden laminaren elektromechanischen Elementes existiert ein relativ geringer Unterschied in der Sinterungstemperatur zwischen den piezoelektrischen Keramikfilmen an verschiedenen Stellen. Damit weist der vorliegende Treiber einheitliche physikalische Eigenschaften und piezoelektrische/elektrostriktive Eigenschaften auf.

Ferner erlaubt die oben angeführte Anordnung, daß die Temperaturkompensationsblätter eine relativ große Dicke aufweisen, da der gewünschte Umfang der Verformung des Treibers durch Anlegen einer relativ kleinen elektrischen Energie an die relativ dünnen piezoelektrischen Keramikfilme erhalten werden kann. Entsprechend kann der Gesamtkoeffizient der linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten des Treibers relativ groß sein, wodurch der Treiber von einem Tragerahmen getragen werden kann, der einen relativ großen Koeffizienten für die lineare Wärmeausdehnung aufweist und entsprechend billig ist.

Aufgabe der Erfahrung ist es außerdem, einen Druckaktuator zum Betreiben eines Druckelementes eines Druckers zu schaffen, wobei der Aktuator einen derartigen laminaren piezoelektrischen/elektrostriktiven Treiber mit longitudinalem Effekt benutzt, um die Herstellungskosten des Druckers zu senken und die Betriebszuverlässigkeit zu steigern.

Die oben angeführte Aufgabe kann in Übereinstim-

mung mit einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfahrung gelöst werden, der einen Druckaktuator zum Betreiben eines Druckelementes eines Druckers liefert, wobei der Aktuator einen laminaren piezoelektrischen/elektrostriktiven Treiber mit longitudinalem Effekt, der sich beim Anlegen eines elektrischen Feldes verformt, einen Tragerahmen mit einem Haltebauteil zum Tragen des Treibers an einer der in Richtung der Verformung des Treibers gegenüberliegenden Enden und eine Vorrichtung zum Übertragen der Verformung des Treibers auf das Druckelement aufweist. Der laminare piezoelektrische/elektrostriktive Treiber mit longitudinalem Effekt weist eine Mehrzahl von laminaren elektromechanischen Konvertierungselementen auf, die aufgrund eines longitudinalen piezoelektrischen/elektrostriktiven Effektes jeweils eine Versetzung bzw. Verformung in Richtung parallel zum angelegten elektrischen Feld erfahren. Der Tragerahmen weist einen ersten Koeffizienten für die lineare Wärmeausdehnung in Verformungsrichtung des Treibers auf, während die laminaren elektromechanischen Konvertierungselemente einen zweiten Koeffizienten für die lineare Wärmeausdehnung in derselben Richtung besitzen, wobei der zweite Koeffizient kleiner als der erste Koeffizient des Tragerahmens ist. Der Treiber weist ferner eine Mehrzahl von Temperaturkompensationselementen auf, die sich jeweils zwischen den beiden benachbarten laminaren elektromechanischen Konvertierungselementen befinden, so daß die Temperaturkompensationselemente abwechselnd aufeinander geschichtet sind. Die Temperaturkompensationselemente weisen einen dritten Koeffizienten für die lineare Wärmeausdehnung in Verformungsrichtung des Treibers auf, wobei dieser dritte Koeffizient größer als der erste Koeffizient des Tragerahmens ist, so daß der Gesamtkoeffizient der linearen Wärmeausdehnung des laminaren piezoelektrischen/elektrostriktiven Treibers im wesentlichen gleich dem ersten Koeffizienten des Tragerahmens ist.

Der wie oben beschrieben konstruierte Druckaktuator der vorliegenden Erfahrung weist hinsichtlich des piezoelektrischen/elektrostriktiven Treibers, der zum Lösen der ersten Aufgabe konstruiert wurde, die oben beschriebenen Vorteile auf. Ferner gestattet der vorliegende Druckaktuator einen hohen Maß an Freiheit beim Auswählen des Materials für den Tragerahmen, da der Gesamtkoeffizient für die lineare Wärmeausdehnung des Treibers, der nahezu mit dem des Tragerahmens übereinstimmen sollte, durch eine Änderung des Koeffizienten für die lineare Wärmeausdehnung der Temperaturkompensationselemente eingestellt werden kann. Es kann nämlich der Tragerahmen mit einem relativ hohen linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten benutzt werden, falls die Temperaturkompensationselemente einen relativ großen linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen. In diesem Fall ist der Tragerahmen entsprechend billig.

Beispielsweise kann jedes Temperaturkompensationselement aus einem relativ dicken Temperaturkompensationsblatt wie einem Aluminiumblatt bestehen, das einen relativ hohen linearen Wärmeausdehnungskoeffizient besitzt. In diesem Fall kann der Tragerahmen aus einem gesinterten Stahlmaterial bestehen. Um den Treiber in geeigneter Weise zu sintern, ist es wünschenswert, daß die individuellen laminaren elektromechanischen Konvertierungselemente ohne die Temperaturkompensationsblätter gesintert werden, so daß die gesinterten elektromechanischen Konvertierungsele-

mente mit jeweils einem Temperaturkompensationsblatt zwischen benachbarten elektromechanischen Konvertierungselementen verbunden werden.

Die laminaren elektromechanischen Konvertierungselemente und die Temperaturkompensationselemente können jedoch auch co-gebrannte oder co-gesinterte Laminarstrukturen sein. In diesem Fall werden die Herstellungskosten des Treibers vermindert und die Dauerhaftigkeit des Treibers wird verbessert. In diesem bildet jedes Temperaturkompensationselement bevorzugterweise eine Laminarstruktur, die aus zwei oder mehr Temperaturkompensationsfilmen besteht, die zwischen den benachbarten zwei laminaren elektromechanischen Konvertierungselementen aufeinander geschichtet sind.

Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren. Von den Figuren zeigen:

Fig. 1 eine Seitenansicht eines Druckaktuators, der in Übereinstimmung mit einer ersten Ausführungsform der Erfindung konstruiert ist;

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht des piezoelektrischen Treibers, der im Druckaktuator der Fig. 1 verwendet wird;

Fig. 3 eine Seitenansicht eines Druckaktuators, der in Übereinstimmung mit einer zweiten Ausführungsform der Erfindung konstruiert ist;

Fig. 4 eine perspektivische Ansicht des piezoelektrischen Treibers, der im Druckaktuator der Fig. 3 verwendet wird;

Fig. 5 eine Seitenansicht eines herkömmlichen Druckaktuators, der einen bekannten piezoelektrischen Treiber benutzt; und

Fig. 6 eine perspektivische Ansicht des bekannten Treibers, der im Aktuator der Fig. 5 verwendet wird.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 1 und 2 bezeichnet das Bezugssymbol 50 einen Druckaktuator zum Betreiben eines Druckelementes in der Form einer Drucknadel 11 eines mechanischen Punktmatrixdruckers. Üblicherweise besitzt der Drucker zwei oder mehr Drucknadeln und jede Drucknadel wird vom Druckaktuator 50 betrieben. Für ein einfaches Verständnis der vorliegenden Ausführungsform im Unterschied zum oben beschriebenen bekannten Aktuator 100 der Fig. 5 und 6 werden in den Fig. 1 und 2 dieselben Bezugssymbole wie in den Fig. 5 und 6 verwendet, um die einander entsprechenden Komponenten oder Teile zu identifizieren, die im wesentlichen mit denjenigen des Aktuators 100 identisch sind.

Der Druckaktuator 50 benutzt einen Tragerahmen A zum Tragen eines laminaren piezoelektrischen/elektrostriktiven Treibers 50 mit longitudinaler Effekt (im weiteren zur Vereinfachung als "piezoelektrischer Treiber" bezeichnet). Der Tragerahmen A wird aus einem gesinterten Stahlmaterial mit einem linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten von +12,1 ppm/°C gebildet. Der Tragerahmen A weist ein Hauptrahmenbauteil 2, einen Basishalteblock 3 und ein sekundäres Rahmenbauteil 4 auf, die relativ zueinander so angeordnet sind, daß sie im wesentlichen eine U-förmige Struktur bilden, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. Das Haupt- und sekundäre Rahmenbauteil 2, 4 sind parallel zueinander angeordnet und durch den Halteblock 3 voneinander in einem Abstand getrennt. Der Halteblock 3 erstreckt sich dabei von einem unteren Teil (Fig. 1) des Hauptrahmenbauteiles 2. Der piezoelektrische Treiber 1 stellt ein im wesentlichen langgestrecktes Bauteil dar und befindet sich so im Tragerahmen A, daß der Treiber 1 mit seinem unteren Ende

auf dem Trageblock 3 liegt, die unten liegende Fläche des Treibers 1 ist mit der oberen Fläche des Trageblocks 3 verbunden. Wie unten beschrieben wird, verformt sich der piezoelektrische Treiber 1 beim Anlegen einer Spannung in longitudinaler Richtung parallel zur Erstreckungsrichtung der parallelen Rahmenbauteile 2, 4.

Ein bewegbares Bauteil 5 ist am oberen Ende (Fig. 1) des piezoelektrischen Treibers 1 befestigt, so daß das bewegliche Bauteil 5 gegenüber dem oberen Teil des Hauptrahmenbauteiles 2 angeordnet ist. Zwischen den einander gegenüberliegenden Oberflächen des beweglichen Bauteiles 5 und dem Hauptrahmenbauteil 2 befindet sich ein Paar paralleler Blattfedern 6, 7, so daß die Blattfeder 6 mit einem Ende am Hauptrahmenbauteil 2 und die Blattfeder 7 mit einem Ende am beweglichen Bauteil 5 befestigt ist. Die beiden Blattfedern 6, 7 sind in Richtung senkrecht zur Bewegungsrichtung des beweglichen Bauteiles 5 in einem geeigneten Abstand angeordnet und mit dem anderen Ende mit einem neigbaren Bauteil 8 verbunden, das mit einem drehbaren Arm 10 bewegt wird. Das neigbare Bauteil 8 ist mit einem Ende des Armes 10 verbunden und die Drucknadel 11 mit einem Ende am anderen Ende des Armes 10 befestigt.

Am oberen Teil (in Fig. 1) des sekundären Rahmenbauteiles 4 ist eine quaderförmige parallele Verbindungs vorrichtung 16 aus Blattfedern angebracht. Die Verbindungs vorrichtung 16 gehört zum beweglichen Bauteil 5, so daß die Verbindungs vorrichtung 16 als Führung für das bewegliche Bauteil 5 in longitudinaler Richtung des Treibers 1 wirkt, wenn sich der Treiber 1 verformt (expandiert oder kontrahiert).

Beim Betrieb des Druckaktuators 50 wird die Blattfeder 7 parallel zur anderen Blattfeder 6 verschoben, wenn das bewegliche Bauteil 5 durch ein an den piezoelektrischen Treiber 1 angelegtes elektrisches Feld von diesem bewegt wird. Hierdurch wird das neigbare Bauteil 8 geneigt und dreht den Arm 10, um auf diese Weise die Drucknadel 11 in longitudinaler Richtung zu verschieben.

Genauer gesagt wird der piezoelektrische Treiber 1 beim Anlegen einer Spannung in Richtung des beweglichen Bauteiles 5 expandiert, wodurch das bewegliche Bauteil 5 nach oben (Fig. 1) bewegt wird, so daß die Blattfedern 6, 7 zum Drehen des neigbaren Bauteiles 8 entgegen dem Uhrzeigersinn (wie in Fig. 1 gesehen) gespannt werden. Damit wird die Drucknadel 11 zum Drucken eines Punktes auf ein Aufzeichnungsmedium in Richtung des Mediums vorgeschoben.

Wenn die angelegte Spannung vom piezoelektrischen Treiber abgenommen wird, so kehrt dieser in seine Anfangsposition zurück, wodurch mittels einer Bewegung des neigbaren Bauteiles 8 im Uhrzeigersinn auch das bewegliche Bauteil 5 und die Blattfedern 6, 7 in ihre Anfangspositionen zurückkehren. Damit wird die Drucknadel 11 in die nicht-betriebsmäßige Stellung zurückgezogen, die durch ein Anschlagen des Armes 10 an einen Anschlag 35 am Tragerahmen A eingestellt ist.

Wird der piezoelektrische Treiber 1 in longitudinaler Richtung wie oben beschrieben hin- und herbewegt, so deformedt sich die Verbindungs vorrichtung 16 elastisch, um das bewegliche Bauteil 5 in Longitudinalrichtung des Treibers 1 zu führen.

Der piezoelektrische Treiber 1 besteht aus fünf laminaren piezoelektrischen Treiberelementen 40 als laminare elektromechanische Konvertierungselemente und vier Temperaturkompensationsblättern 43 als Temperaturkompensationselemente, wie in Fig. 2 gezeigt ist. Jedes laminare piezoelektrische Treiberelement 40

weist 46 Elektrodenfilme 41 und 45 piezoelektrische Keramikfilme 42 auf, die abwechselnd aufeinander geschichtet und co-gesintert sind, so daß jeder piezoelektrische Keramikfilm 42 zwischen den beiden benachbarten Elektrodenfilmen in Form eines Sandwich eingeschlossen ist. Zur Vereinfachung und Abkürzung sind in Fig. 2 für jedes piezoelektrische Treiberelement 40 nur drei piezoelektrische Keramikfilme 42 dargestellt. Jeder piezoelektrische Keramikfilm 42 besitzt eine Dicke von 40 µm und eine Piezoelektrizitätskonstante  $d_{33}$  von  $6,35 \times 10^{-10} \text{ m/V}$  sowie eine Elektrostriktionskonstante  $M_{33}$  von  $1,32 \times 10^{-16} \text{ m/V}^2$ . Jeder Elektrodenfilm 41 weist eine Dicke von 2 µm auf. Jedes laminare piezoelektrische Treiberelement 40 besitzt eine Gesamtdicke von 1,89 mm und erfährt aufgrund der longitudinalen Mode des inversen piezoelektrischen oder elektrostriktiven Effektes eine lineare Verformung in Laminationsrichtung.

Jedes der vier Temperaturkompensationsblätter 43 besteht aus Aluminium und weist eine Dicke von 3,15 mm auf. Die fünf gesinterten laminaren piezoelektrischen Treiberelemente 40 und die vier Temperaturkompensationsfilme 43 sind für den laminaren piezoelektrischen Treiber 1 mit longitudinalem Effekt abwechselnd aufeinander geschichtet und mit einem bekannten Klebstoff miteinander verbunden. Der Treiber weist eine Länge von 22 mm auf, entlang der er beim Anlegen und Entfernen einer Spannung an die oder von den Elektrodenfilmen 41 verformt wird.

Aufgrund der Reduktion der restlichen Verformung der polarisierten piezoelektrischen Keramikfilme 42 bei erhöhter Betriebstemperatur des Treibers 1 weisen die laminaren piezoelektrischen Treiberelemente 40 einen linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten von  $-3,8 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$  auf. Andererseits besitzen die Aluminium-Temperaturkompensationsblätter 43 einen von  $+23,9 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ . Damit beträgt der gesamte lineare Wärmeausdehnungskoeffizient des piezoelektrischen Treibers 1  $+12,1 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ , der im wesentlichen mit dem des Tragerahmens A übereinstimmt.

Beim vorliegenden Druckaktuator 50 wurde eine Verformung um 15 µm des piezoelektrischen Treibers 1, die für eine Druckbewegung der Drucknadel 11 notwendig ist, durch Anlegen von 76 V zwischen jedem Paar von Elektrodenfilmen 41 auf gegenüberliegenden Flächen eines jeden piezoelektrischen Keramikfilms 42 der Treiberelemente 40 erzielt. Dieser erforderliche Spannungswert von 76 V ist erheblich kleiner als die Spannung von 107 V des bekannten Aktuators 100 der Fig. 5 und 6. Der piezoelektrische Treiber 1 ist ferner durch die relativ geringe Dicke (40 µm) der piezoelektrischen Keramikfilme 42 und die relativ kleine Zahl (45) solcher Keramikfilme vorteilhaft. Dies führt zu einer vergleichsweise kleinen Gesamtdicke eines jeden laminaren piezoelektrischen Treiberelementes 40. Diese reduzierte Dicke erlaubt eine einfache Herstellung des piezoelektrischen Treibers 1 mit einheitlicher Korngröße und -dichte der laminaren piezoelektrischen Treiberelemente 40 und stellt verbesserte piezoelektrische und Isoliereigenschaften der Treiberelemente 40 sicher. So mit ist es weniger wahrscheinlich, daß der piezoelektrische Treiber 1 defekt ist. Der Treiber 1 ist im Betrieb zuverlässiger und stabiler als das bekannte Gegenstück 101.

Da der laminare piezoelektrische Treiber 1 die relativ dünnen laminaren piezoelektrischen Treiberelemente 40 als elektromechanische Konvertierungselemente benutzt, die eine gewünschte Versetzung oder Verfor-

mung mit relativ geringer elektrischer Energie bereitstellen, kann das Verhältnis der Gesamtdicke der elektromechanischen Konvertierungselemente 40 zur Länge des Treibers 1 relativ klein gemacht werden. Mit anderen Worten kann das Verhältnis der Gesamtdicke der Temperaturkompensationsblätter 43 zur Länge des Treibers 1 auf einfache Weise erhöht werden, um den gewünschten Umfang der Verformung des Treibers 1 sicherzustellen. Folglich kann der Gesamtkoeffizient der linearen Wärmeausdehnung des Treibers 1 so groß ( $+12,1 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ ) wie die des gesinterten Stahlmaterials des Tragerahmens A gemacht werden. Damit ermöglicht es der vorliegende piezoelektrische Treiber 1, ein vergleichsweise billiges Material für den Rahmen A zu verwenden. Ferner kann der lineare Gesamtwärmeausdehnungskoeffizient des Treibers 1 wie erforderlich eingestellt werden, indem man das Verhältnis der Gesamtdicke der Temperaturkompensationsblätter 43 zur Länge des Treibers 1 ändert. Diese Einstellung gestattet die Verwendung verschiedener Materialien für den Rahmen A.

Es sei ferner bemerkt, daß der vorliegende Druckaktuator 50 kein getrenntes Temperaturkompensationselement wie das Bauteil 12 im bekannten Aktuator 100 der Fig. 5 und 6 benutzt. Da die Temperaturkompensationsblätter 43 als integrale Bestandteile des piezoelektrischen Treibers 1 gebildet sind, ist der Temperaturunterschied zwischen den piezoelektrischen Treiberelementen 40 und den Temperaturkompensationsblättern 43 erheblich kleiner als der Unterschied zwischen dem piezoelektrischen Treiber 101 und dem Temperaturkompensationsbauteil 12. Entsprechend einem Experiment beträgt die Temperaturdifferenz im piezoelektrischen Treiber 1 des gegenwärtigen Aktuators 50 nur etwa  $2^\circ\text{C}$ , während diese beim bekannten piezoelektrischen Treiber  $25^\circ\text{C}$  groß ist. Entsprechend wirken die Temperaturkompensationsblätter 43 effektiv, um die Schwankung der linearen Verformung des Treibers 1 aufgrund einer Änderung der Betriebstemperatur zu minimieren und dadurch die Drucknadel 11 gegenüber einem unerwünschten Kontakt mit einem Farbband oder Aufzeichnungsmedium zu schützen, während sich die Drucknadel 11 in der nicht-betriebsmäßigen Position befindet.

Der piezoelektrische Treiber 1 kann in Abhängigkeit von den speziellen Erfordernissen des Druckaktuators 50 geeignet modifiziert werden. Beispielsweise sind die folgenden Modifikationen möglich, um den geforderten Umfang der linearen Verformung des Treibers 1 mit weiter verminderter Energie zu schaffen, wenn der Tragerahmen A aus einem Material besteht, das einen relativ geringen linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist:

Entsprechend einer Modifikation verwendet jedes piezoelektrische Treiberelement 40 86 piezoelektrische Keramikfilme 42 (mit jeweils 40 µm Dicke), die jeweils von den benachbarten Elektrodenfilmen 41 (mit einer Dicke von 2 µm) in Form eines Sandwich eingeschlossen sind, so daß das Treiberelement 40 eine Dicke von 3,61 mm aufweist. Andererseits besitzt jedes Aluminium-Temperaturkompensationsblatt 43 eine Dicke von 1 mm. Auch in diesem Fall sind die vier Temperaturkompensationsblätter 43 und die fünf piezoelektrischen Treiberelemente 40 aufeinander geschichtet und mittels eines Klebstoffes verbunden, um den piezoelektrischen Treiber 1 mit einer Länge von 22 mm zu bilden. Diese Anordnung ermöglicht die Reduzierung der erforderlichen Spannung für den Treiber 1 auf 45 V zu senken.

Entsprechend einer weiteren Modifikation verwendet jedes laminare piezoelektrische Treiberelement 40 164 piezoelektrische Keramikfilme 42, die jeweils eine Dicke von 20  $\mu\text{m}$  aufweisen und von den benachbarten Elektrodenfilmen 41 mit einer Dicke von 2  $\mu\text{m}$  in Form eines Sandwich eingeschlossen sind, so daß die Dicke eines jeden Treiberelementes 40 3,61 mm beträgt. Auch in diesem Fall werden die vier Aluminium-Temperaturkompensationsblätter 43 mit einer Dicke von jeweils 1 mm zusammen mit den fünf piezoelektrischen Treiberelementen 40 benutzt, so daß die Länge des erhaltenen piezoelektrischen Treibers 1 22 mm beträgt. In dieser Anordnung wird die erforderliche Spannung zum Betreiben des Treibers 1 auf 23 V gesenkt.

Bezüglich der Fig. 3 und 4 wird nun eine weitere Ausführungsform der Erfindung beschrieben. In Fig. 3 bezeichnet das Bezugszeichen 60 einen Druckaktuator, der einen laminaren piezoelektrischen/elektrostriktiven Treiber 21 mit longitudinalem Effekt (im weiteren einfach als "piezoelektrischer Treiber" bezeichnet), der sich vom piezoelektrischen Treiber 1 des Aktuators 50 in den Fig. 1 und 2 unterscheidet.

Der Druckaktuator 60 benutzt einen U-förmigen Tragerahmen B aus einer Invarlegierung mit einem linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten von 2,0 ppm/ $^{\circ}\text{C}$  bei einer Temperatur zwischen Zimmertemperatur und 100 $^{\circ}\text{C}$ . Im Gegensatz zum piezoelektrischen Treiber 1 der vorherigen Ausführungsform befindet sich der piezoelektrische Treiber 21 mit seinem unteren Ende auf einem vorgespannten Bauteil 22, das im Tragerahmen B gebildet ist. Das vorgespannte Bauteil 22 weist abgeschrägte Oberflächen auf, um den Treiber 21 in longitudinaler Richtung zu bewegen und so die Vorspannung bezüglich des beweglichen Bauteiles 5 einzustellen, das mit der Blattfeder 7 verbunden ist. Das bewegliche Bauteil 5 ist mit der oberen Fläche des Treibers 21 verbunden. Eine lineare Verformung des Treibers 21 wird im wesentlichen in derselben Weise wie bei der vorherigen Ausführung in eine Druckbewegung der Drucknadel 11 umgewandelt.

Es ist wünschenswert, daß der laminare piezoelektrische Treiber 21 im wesentlichen denselben linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie der Tragerahmen B aufweist. Aus diesem Grund ist der Treiber 21 wie unten beschrieben konstruiert.

Wie in Fig. 4 dargestellt ist, besteht der laminare piezoelektrische Treiber 21 aus fünf laminaren piezoelektrischen Treiberelementen 40 als elektromechanischen Konvertierungselementen und sechs laminaren Temperaturkompensationsschichten 44 als Temperaturkompensationselementen. Diese Treiberelemente 40 und Temperaturkompensationsschichten 44 sind abwechselnd aufeinander geschichtet und miteinander verbunden. Jedes piezoelektrische Treiberelement 40 besteht aus Silber-Palladium-Elektrodenfilmen 41 mit einer Dicke von jeweils 4  $\mu\text{m}$  sowie Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) piezoelektrischen Keramikfilmen 42 mit einer Dicke von jeweils 100  $\mu\text{m}$ . Diese Elektroden und Keramikfilme 41, 42 sind abwechselnd aufeinander geschichtet und im Treiberelement 40 co-gebrannt. Dieses weist eine Gesamtdicke von 2mm auf.

Jede laminare Temperaturkompensationsschicht 44 besteht aus 13 Temperaturkompensationsfilmen 46 (in Fig. 4 sind nur zwei Filme 46 gezeigt) mit einer Dicke von jeweils 100  $\mu\text{m}$ , so daß die Laminarschicht 44 eine Gesamtdicke von 1,3 mm aufweist. Die Temperaturkompensationsschichten 44 bestehen aus einem Keramikmaterial, das Zirkon und geeignete Zusätze auf-

weist, so daß die Sinterungstemperatur und Schrumpfrate der Schichten 44 nahe bei denen des Keramikmaterials (PZT) der piezoelektrischen Keramikfilme liegen. Die Elektrodenfilme 41, piezoelektrischen Keramikschichten 42 und Temperaturkompensationsfilme 46 werden durch ein geeignetes Laminationsverfahren, wie beispielsweise die Rakelmessermethode und Dickfilmdruck, gebildet, einem Prozeß zum Entfernen des Bindemittels ausgesetzt und bei 1100 – 1300 $^{\circ}\text{C}$  in den laminaren piezoelektrischen Treiber 21 mit longitudinalem Effekt co-gezintert, der eine Größe von 3 mm (Tiefe)  $\times$  3 mm (Breite)  $\times$  17,8 mm (Höhe) aufweist. Der hierdurch gebildete piezoelektrische Treiber 21 wird bei 150 $^{\circ}\text{C}$  für 10 Minuten einer Polarisationsbehandlung mit 3 kV/mm ausgesetzt, um dem Treiber 21 die erforderlichen piezoelektrischen oder elektrostriktiven Eigenschaften zu geben.

Die laminaren piezoelektrischen Treiberelemente 40 und die laminaren Temperaturkompensationsschichten 44 weisen zwischen Zimmertemperatur und 100 $^{\circ}\text{C}$  lineare Wärmeausdehnungskoeffizienten von -4,0 ppm/ $^{\circ}\text{C}$  bzw. 10,0 ppm/ $^{\circ}\text{C}$  auf. Der lineare Gesamtwärmeausdehnungskoeffizient des piezoelektrischen Treibers 21 wird zu  $2,1 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} = \{-4,0 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} \times (2 \text{ mm} \times 5) + 10,0 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} \times (1,3 \text{ mm} \times 6)\}/17,8 \text{ mm}$  berechnet. Dieser Koeffizient von 2,1 ppm/ $^{\circ}\text{C}$  des Treibers 21 ist beträchtlich größer als 14,0 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ , dem Koeffizienten der Treiberelemente 40, die eine Verformung aufgrund der longitudinalen Mode des inversen piezoelektrischen Effektes oder elektrostriktiven Effektes bereitstellen. Entsprechend existiert eine relativ kleine Differenz im Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen dem piezoelektrischen Treiber 21 und dem Tragerahmen B.

Bei der vorliegenden Ausführungsform sind die laminaren piezoelektrischen Treiberelemente 40 und die laminaren Temperaturkompensationsschichten 44 co-gezintert und miteinander verbunden, wodurch eine verbesserte Haftfähigkeit zwischen diesen und entsprechend eine verbesserte Strukturfestigkeit und vermindeerte Herstellungskosten des Treibers 21 sichergestellt werden. Die Eliminierung eines getrennten Temperaturkompensationsteiles trägt zu einer weiteren Verminderung der Herstellungskosten für den Treiber 21 bei.

Beim gegenwärtigen piezoelektrischen Treiber 21 besteht eine Temperaturdifferenz von nur etwa 2 $^{\circ}\text{C}$  zwischen den laminaren piezoelektrischen Treiberelementen 40 und den laminaren Temperaturkompensationsschichten 44.

Die laminierten Temperaturkompensationsschichten 44 können aus einem keramischen Material wie Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) mit im wesentlichen derselben Zusammensetzung wie die piezoelektrischen Keramikschichten 42 gebildet werden. In diesem Fall besteht jede Schicht 44 aus 20 Temperaturkompensationsfilmen 46 mit einer Dicke von jeweils 100  $\mu\text{m}$  und einer Gesamtdicke von 2 mm. Der piezoelektrische Treiber 21, der die so modifizierten Temperaturkompensationsschichten verwendet, weist eine Länge von 22 mm auf. Bei dieser modifizierten Ausführungsform werden nur die piezoelektrischen Treiberelemente 40 bei 150 $^{\circ}\text{C}$  für 10 Minuten einem Polarisationsprozeß mit 3 kV/mm ausgesetzt und die Keramikfilme 46 der Temperaturkompensationsschichten 44 bleiben unpolarisiert, um eine Expansion oder Kontraktion aufgrund des inversen piezoelektrischen oder elektrostriktiven Effektes zu vermeiden.

Beim oben beschriebenen modifizierten piezoelektri-

schen Treiber 21 weisen die piezoelektrischen Treiber-  
elemente 40 wie bei der obigen Ausführung einen linearen  
Wärmeausdehnungskoeffizienten von  $-4,0 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$  auf (zwischen Zimmertemperatur und  $100^{\circ}\text{C}$ ). Der  
lineare Wärmeausdehnungskoeffizient der laminaren,  
keramischen Temperaturkompensationsschichten 44  
beträgt jedoch  $7,0 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ , da die Schichten 44 unpolari-  
siert bleiben und die Dicke der Schichten 44 mit einer  
Änderung der Betriebstemperatur nicht durch eine  
Schwankung der restlichen Verformung verändert wird.  
Der Gesamtkoeffizient für die lineare Wärmedehnung  
berechnet sich zu  $2,0 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} = \{-4,0 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} \times (2\text{mm} \times 5) + 7,0 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} \times (2 \text{ mm} \times 6)\}/22 \text{ mm}$ . Dieser Wert ist erheblich größer als der lineare Wärmeaus-  
dehnungskoeffizient von  $-4,0 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$  der piezoelektrischen Treiberelemente 40. Folglich existiert nur ein  
geringer Unterschied im linearen Wärmeausdehnungs-  
koeffizienten zwischen dem Treiber 21 und dem Tragerahmen B.

Da die Temperaturkompensationsfilme 46 aus dem-  
selben keramischen Material wie die piezoelektrischen  
Keramikfilme 42 bestehen, können die Filme 42, 46 auf  
einfache Weise aus denselben Schichten gebildet und  
co-gesintert werden. Dies führt zu erheblich verminder-  
ten Herstellungskosten und einer verbesserten Verbin-  
dungsstärke des Treibers 21.

Während die vorliegende Erfindung in den gegenwärtig bevorzugten Ausführungen in Form des Druckaktuators 50, 60 mit dem laminaren piezoelektrischen/elektrostriktiven Treiber 1, 21 mit longitudinalem Effekt beschrieben worden ist, ist es klar, daß die vorliegende Erfindung nicht auf die Details der dargestellten Ausführungsformen beschränkt ist, sondern mit verschiedenen Änderungen und Modifikationen ausgeführt werden kann, die dem Fachmann im Hinblick auf die vorangegangene Lehre einfallen. Beispielsweise können die Dimensionen der laminaren piezoelektrischen Treiber-  
elemente 40, der Temperaturkompensationsblätter 43 und der laminaren Temperaturkompensationsschichten 44 sowie die Materialien der Elektrodenfilme 41, der piezoelektrischen Keramikfilme 42 und der Temperaturkompensationsblätter 43 oder Filme 46 in Abhängigkeit von den erforderlichen linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten relativ zu dem des Tragerahmens A, B, dem gewünschten Verformungsumfang des Treibers 1, 21 und der erforderlichen, an den Treiber angelegten elektrischen Energie, um den gewünschten Betriebshub der Drucknadel 11 zu erreichen, geeignet modifiziert oder verändert werden.

Obwohl der piezoelektrische/elektrostriktive Treiber 1, 21 in den dargestellten Ausführungsformen als Druck-  
aktuator 50, 60 für einen mechanischen Punktmatrix-  
drucker verwendet wird, kann der entsprechend der  
oben angeführten Erfindung konstruierte Treiber auch  
für andere Aktuatoren bzw. Stellglieder verwendet werden,  
wie sie im einleitenden Teil der Beschreibung be-  
schrieben wurden.

#### Patentansprüche

1. Laminarer piezoelektrischer/elektrostriktiver  
Treiber mit longitudinalem Effekt, der sich in Ab-  
hängigkeit von einem angelegten elektrischen Feld  
verformt, gekennzeichnet durch  
eine Mehrzahl von laminaren elektromechanischen  
Konvertierungselementen (40), die aufgrund eines  
longitudinalen piezoelektrischen/elektrostriktiven  
Effektes in Richtung des elektrischen Feldes eine

Verschiebung bzw. Verformung erfahren und in  
dieser Richtung einen ersten linearen Wärmeaus-  
dehnungskoeffizienten aufweisen, und  
eine Mehrzahl von Temperaturkompensationsele-  
menten (43, 44) mit einem zweiten linearen Wärmeaus-  
dehnungskoeffizienten in dieser Richtung, der  
größer als der erste Koeffizient ist, wobei die lami-  
naren elektromechanischen Konvertierungsele-  
mente und die Temperaturkompensationselemente  
abwechselnd aufeinander geschichtet sind.

2. Treiber nach Anspruch 1, dadurch gekennzeich-  
net, daß jedes laminare elektromechanische Kon-  
vertierungselement (40) aus einer Mehrzahl von  
piezoelektrischen Keramikfilmen (42) und einer  
Mehrzahl von Elektrodenfilmen (41) besteht, die  
abwechselnd aufeinander geschichtet sind, so daß  
jeder der piezoelektrischen Keramikfilme zwi-  
schen den beiden benachbarten Elektrodenfilmen  
in Form eines Sandwich eingeschlossen ist.

3. Treiber nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die laminaren elektromechanischen Kon-  
vertierungselemente (40) und die Temperatur-  
kompensationselemente (44) eine co-gesinterte la-  
minare Struktur bilden.

4. Treiber nach Anspruch 3, dadurch gekennzeich-  
net, daß jedes Temperaturkompensationselement  
(44) eine laminare Struktur darstellt, die aus einer  
Mehrzahl von Temperaturkompensationsfilmen  
(46) besteht, die zwischen den benachbarten beiden  
laminaren elektromechanischen Konvertierungs-  
elementen (40) aufeinander geschichtet sind.

5. Treiber nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Temperaturkompensationsele-  
mente (44) aus einem piezoelektrischen Keramik-  
material mit im wesentlichen derselben Zusam-  
mensetzung wie die elektromechanischen Konvertie-  
rungselemente (40) gebildet sind.

6. Treiber nach Anspruch 5, dadurch gekennzeich-  
net, daß die Temperaturkompensationselemente  
(44) aus einem Keramikmaterial gebildet sind, des-  
sen Hauptkomponente aus Blei-Zirkonat-Titanat  
besteht.

7. Treiber nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Temperaturkompensationsele-  
mente (44) unpolariert sind.

8. Treiber nach Anspruch 2, dadurch gekennzeich-  
net, daß jedes der Temperaturkompensationsele-  
mente aus einem einzelnen Temperaturkompensations-  
blatt (43) besteht, das durch einen Klebstoff  
mit den benachbarten laminaren elektromechani-  
schen Konvertierungselementen (40) verbunden ist.

9. Treiber nach Anspruch 8, dadurch gekennzeich-  
net, daß jedes Temperaturkompensationsblatt (43)  
aus Aluminium besteht.

10. Laminarer piezoelektrischer/elektrostriktiver  
Treiber mit longitudinalem Effekt, der sich in Ab-  
hängigkeit von einem angelegten elektrischen Feld  
verformt, gekennzeichnet durch  
wenigstens ein laminares elektromechanisches  
Konvertierungselement (40), das oder die jeweils  
aufgrund eines longitudinalen piezoelektrischen/  
elektrostriktiven Effektes in Richtung des elektri-  
schen Feldes eine Verschiebung bzw. Verformung  
erfahren und in dieser Richtung einen ersten linearen  
Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen,  
und

wenigstens ein Temperaturkompensationselement  
(43) mit einem zweiten linearen Wärmeausdeh-

nungskoeffizienten in dieser Richtung, der größer als der erste Koeffizient ist, wobei das wenigstens eine laminare elektromechanische Konvertierungs-  
element und das wenigstens eine Temperaturkom-  
pensationselement abwechselnd aufeinander ge-  
schichtet sind und zusammenwirken, um eine co-  
gesinterte Struktur zu bilden.

11. Druckaktuator zum Betreiben eines Druckele-  
mentes (11), gekennzeichnet durch  
einen laminaren piezoelektrischen/elektrostrikti-  
ven Treiber (50, 60) mit longitudinalen Effekt, der  
sich beim Anlegen eines elektrischen Feldes ver-  
formt,

einen Tragerahmen (A, B) mit einem Haltebauteil  
(3, 22) zum Tragen des Treibers an einer der in 15  
Richtung der Verformung des Treibers gegenüber-  
liegenden Enden, wobei der Tragerahmen einen er-  
sten linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten in  
Verformungsrichtung aufweist, und  
eine Vorrichtung (5-8, 10) zum Übertragen der 20  
Verformung des Treibers auf das Druckelement,  
wobei der laminare piezoelektrische/elektrostrikti-  
ve Treiber mit longitudinalen Effekt eine Mehrzahl  
von laminaren elektromechanischen Konvertie-  
rungselementen (40) aufweist, die aufgrund eines 25  
longitudinalen piezoelektrischen/elektrostriktiven  
Effektes jeweils eine Versetzung bzw. Verformung  
in Richtung parallel zum angelegten elektrischen  
Feld erfahren und die laminaren elektromechani-  
schen Konvertierungselemente einen zweiten li- 30  
nearen Wärmeausdehnungskoeffizienten in der  
Verformungsrichtung besitzen, der kleiner als der  
erste Koeffizient ist, und

wobei der Treiber ferner eine Mehrzahl von Tem-  
peraturkompensationselementen (43, 44) aufweist, 35  
wobei ferner die laminaren elektromechanischen  
Konvertierungselemente und die Temperaturkom-  
pensationselemente abwechselnd aufeinander ge-  
schichtet sind und die Temperaturkompensations-  
elemente einen dritten linearen Wärmeausdeh- 40  
nungskoeffizienten in dieser Richtung aufweisen,  
der größer als der erste Koeffizient des Tragerah-  
mens ist, so daß der Gesamtkoeffizient der linearen  
Wärmeausdehnung des laminaren piezoelektri-  
schen/elektrostriktiven Treibers im wesentlichen 45  
gleich dem ersten Koeffizienten ist.

12. Druckaktuator nach Anspruch 11, dadurch ge-  
kennzeichnet, daß jedes der Temperaturkompensa-  
tionselemente aus einem einzelnen Temperatur-  
kompensationsblatt (43) besteht, das durch einen 50  
Klebstoff mit den benachbarten laminaren elektro-  
mechanischen Konvertierungselementen (40) ver-  
bunden ist.

13. Druckaktuator nach Anspruch 12, dadurch ge-  
kennzeichnet, daß jedes der Temperaturkompensa- 55  
tionsblätter (43) aus Aluminium besteht.

14. Druckaktuator nach Anspruch 12 oder 13, da-  
durch gekennzeichnet, daß der Tragerahmen (A)  
aus einem gesinterten Stahlmaterial besteht.

15. Druckaktuator nach Anspruch 11, dadurch ge- 60  
kennzeichnet, daß die laminaren elektromechani-  
schen Konvertierungselemente (49) und die Tem-  
peraturkompensationselemente (44) eine co-ge-  
brannte Laminarstruktur bilden.

16. Druckaktuator nach Anspruch 15, dadurch ge- 65  
kennzeichnet, daß jedes der Temperaturkompensa-  
tionselemente (44) eine Laminarstruktur darstellt,  
die aus einer Mehrzahl von Temperaturkompen-

tionsfilmen (46) besteht, die zwischen den benach-  
barten zwei laminaren elektromechanischen Kon-  
vertierungselementen (40) aufeinander geschichtet  
sind.

17. Druckaktuator nach Anspruch 15 oder 16, da-  
durch gekennzeichnet, daß die Temperaturkom-  
pensationselemente (44) aus einem piezoelektri-  
schen Keramikmaterial mit im wesentlichen dersel-  
ben Zusammensetzung wie die elektromechani-  
schen Konvertierungselemente (40) bestehen.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

FIG. 1

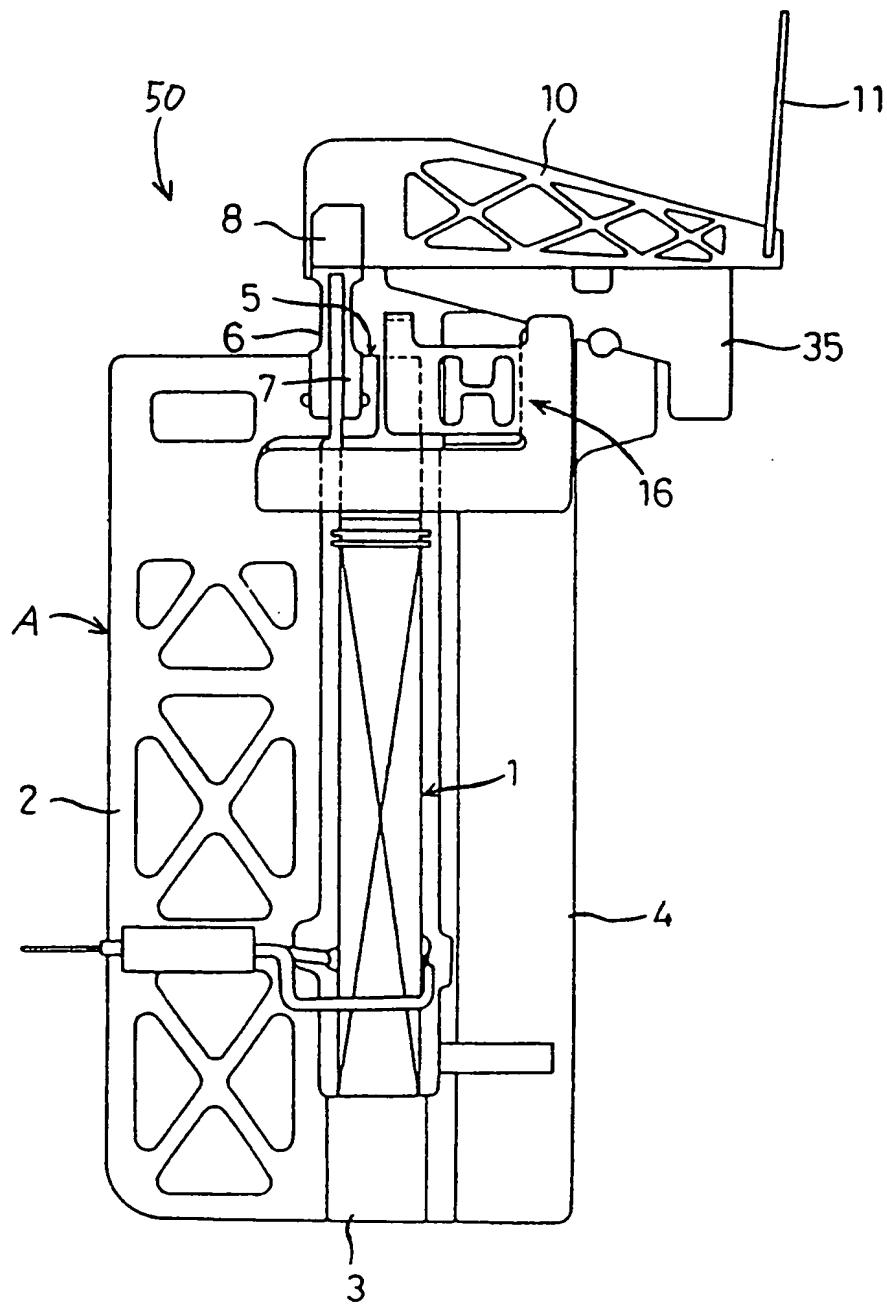


FIG. 2

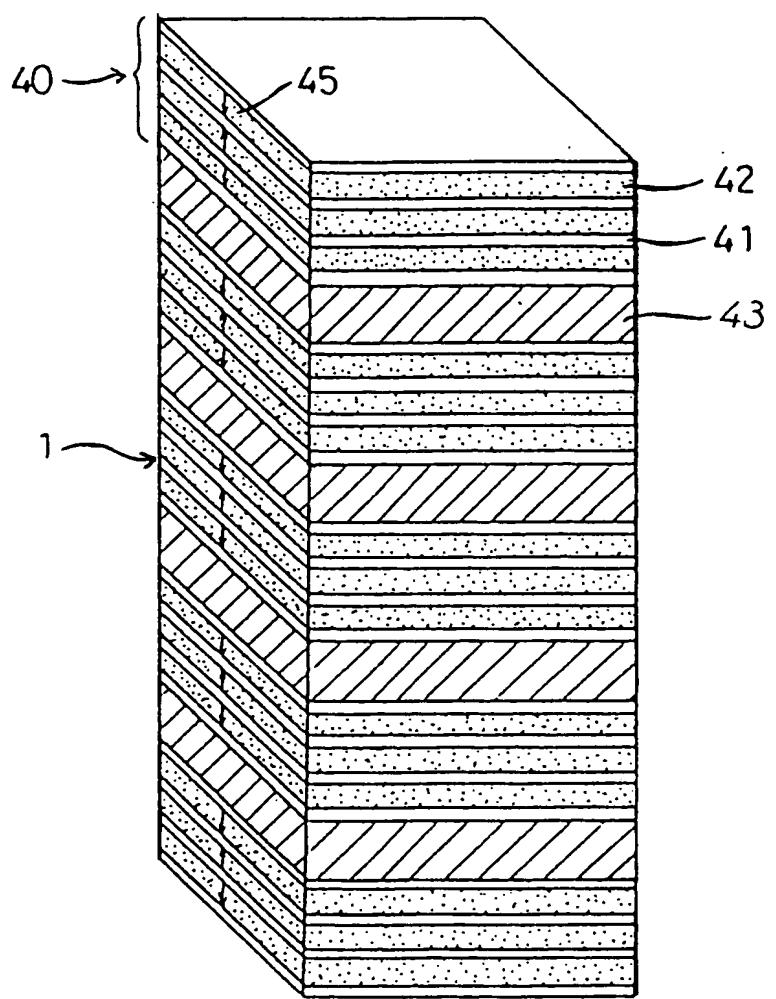


FIG. 3

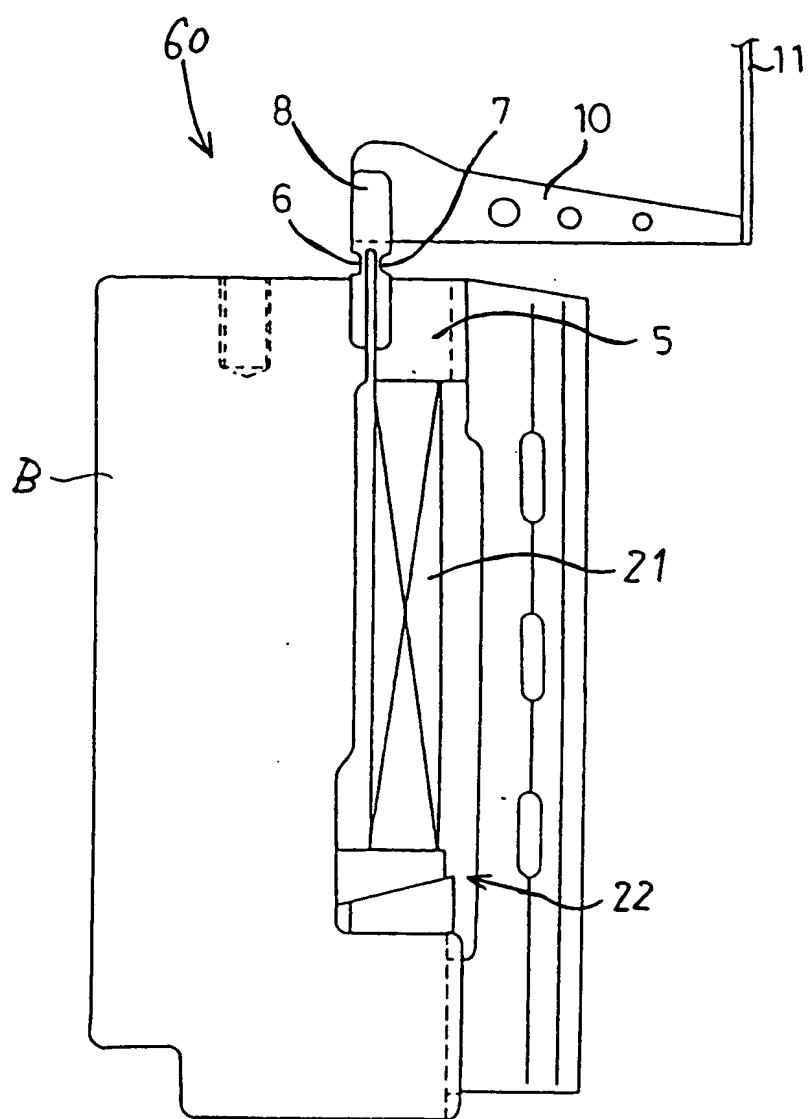


FIG. 4

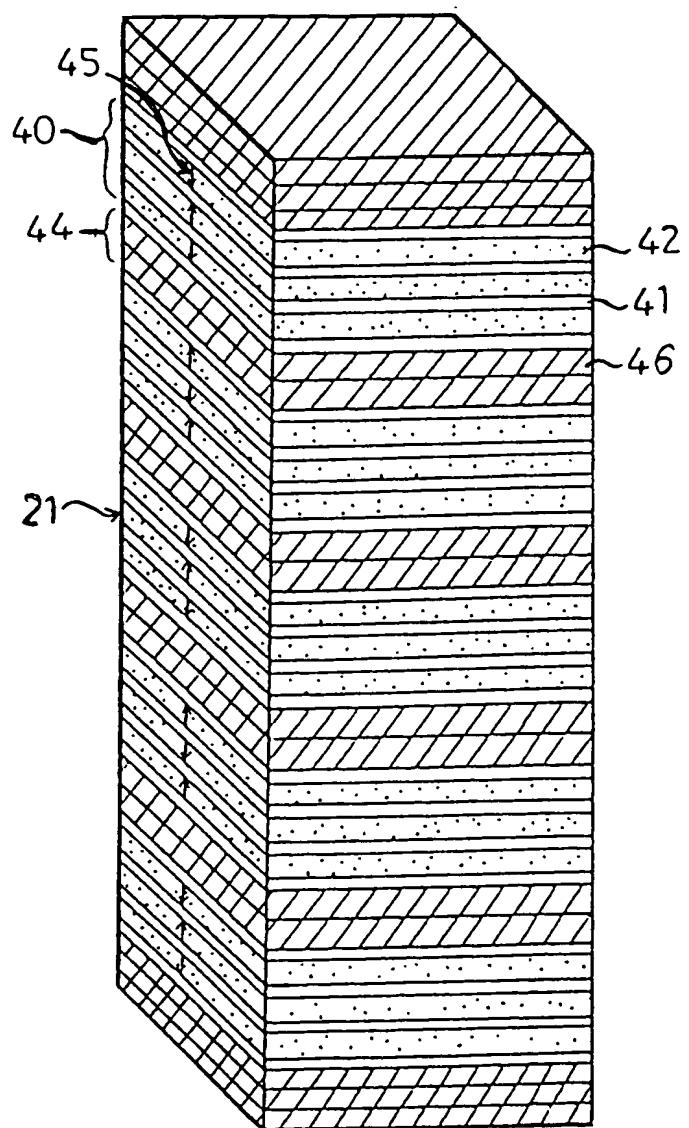


FIG. 5

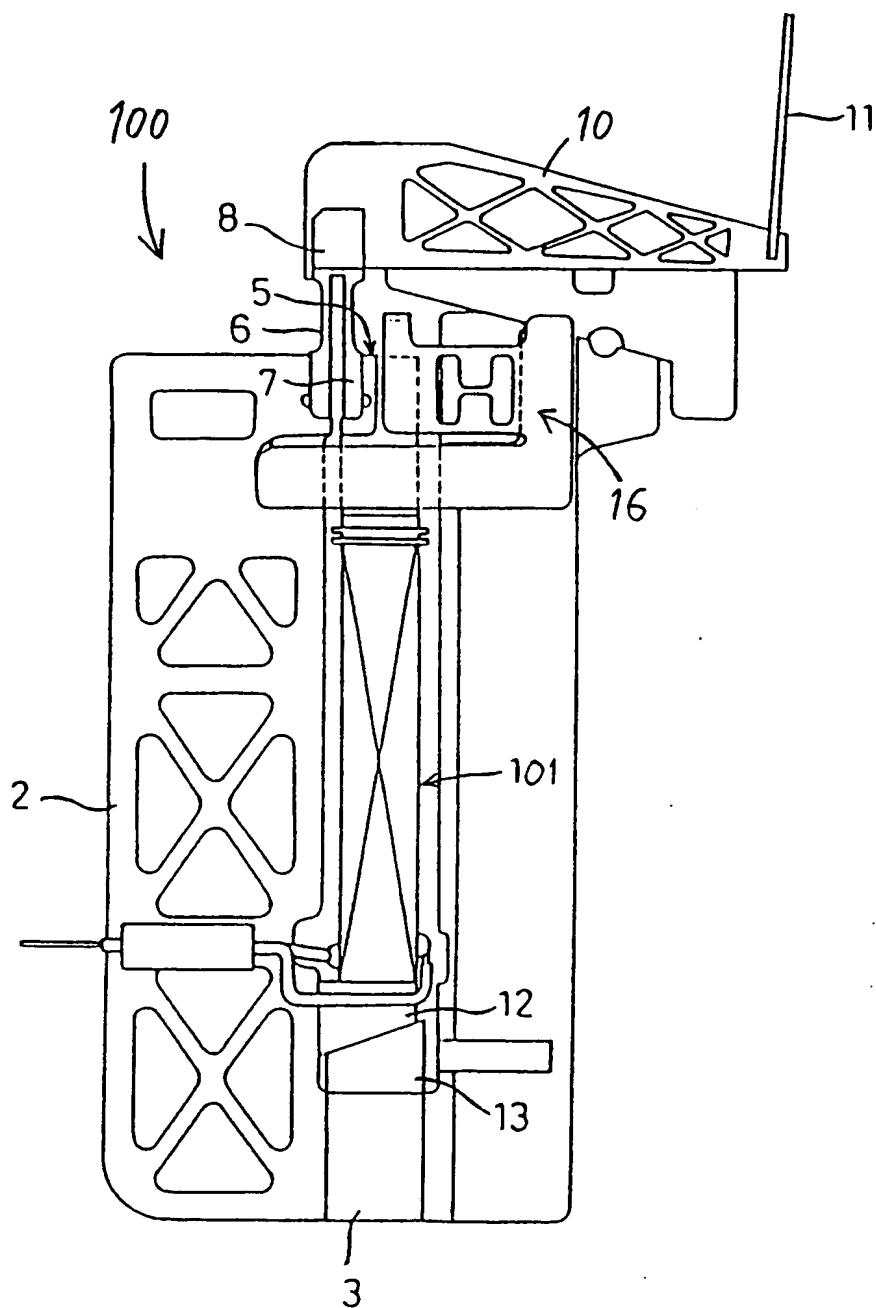
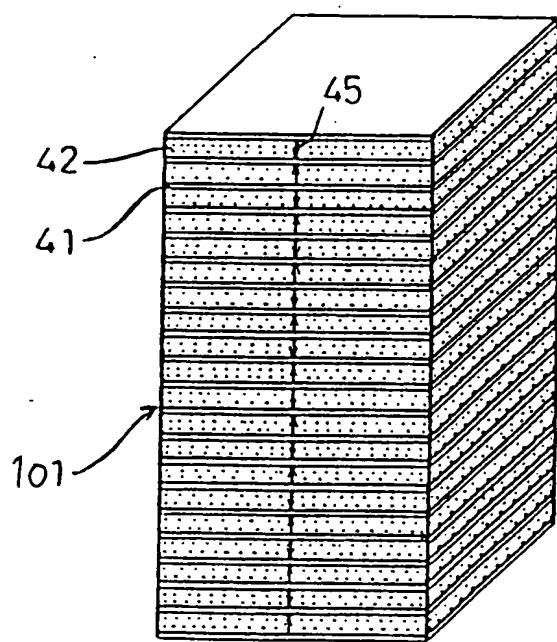


FIG. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**